

10/780751  
2856**INSPECTION OF PIPES**

**Patent number:** WO9612951  
**Publication date:** 1996-05-02  
**Inventor:** CAWLEY PETER (GB); ALLEYNE DAVID NATHANIEL (GB); CHAN CHE WAN (GB)  
**Applicant:** IMPERIAL COLLEGE (GB); CAWLEY PETER (GB); ALLEYNE DAVID NATHANIEL (GB); CHAN CHE WAN (GB)  
**Classification:**  
- **International:** G01N29/22; G10K11/00; G01N29/22; G10K11/00; (IPC1-7): G01N29/22; G10K11/00  
- **European:** G01N29/22L; G10K11/00G  
**Application number:** WO1995GB02482 19951020  
**Priority number(s):** GB19940021187 19941020; GB19950017794 19950831

**Also published as:**

EP0787294 (A)  
US6148672 (A)  
GB2308191 (A)  
EP0787294 (B)

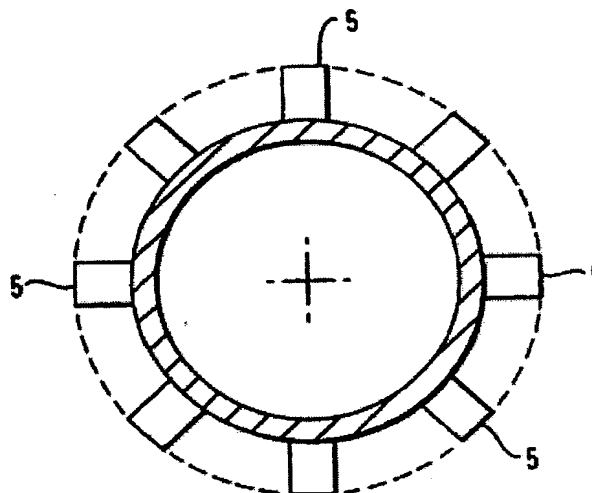
**Cited documents:**

WO9505585  
US4561306  
US4041773  
DE2445869

Report a data error he

**Abstract of WO9612951**

An apparatus and a method for inspecting elongate members, especially pipes using Lamb waves. The apparatus and method provide for the propagation of an axi-symmetric Lamb wave of a single mode in one direction along the pipe. A means is provided to receive the Lamb wave after its passage along the pipe and convert the received wave for storage, processing and analysis to determine whether or not there are faults present in the pipe. The apparatus includes at least one and usually several excitation rings each comprising a plurality of Lamb wave exciters (5) deployed in equiangular spacing in a ring clamping means whereby each exciter can be pressed with equal force against the surface of the pipe under inspection.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表平10-507530

(43)公表日 平成10年(1998)7月21日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 N 29/08

識別記号

5 0 2

F I

G 0 1 N 29/08

5 0 2

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 29 頁)

(21)出願番号 特願平8-513725  
 (86)(22)出願日 平成7年(1995)10月20日  
 (85)翻訳文提出日 平成9年(1997)4月18日  
 (86)国際出願番号 PCT/GB95/02482  
 (87)国際公開番号 WO96/12951  
 (87)国際公開日 平成8年(1996)5月2日  
 (31)優先権主張番号 9421187.7  
 (32)優先日 1994年10月20日  
 (33)優先権主張国 イギリス (GB)  
 (31)優先権主張番号 9517794.5  
 (32)優先日 1995年8月31日  
 (33)優先権主張国 イギリス (GB)

(71)出願人 インベリアル・カレッジ・オブ・サイエンス・テクノロジー・アンド・メディシン  
 イギリス国 エスタブリッシュメント・オブ・エックス・サウス・ケンジントン、エクシビション・ロード (番地なし)  
 (72)発明者 コーリー、ピーター  
 イギリス国 ダブリュ3 6 エスエヌ、ロンドン、シェイクスピア・ロード 84  
 (72)発明者 アレイン、デービッド・ナサニエル  
 イギリス国 エイチエー5 5 エイチビー、ハロー、レイナズ・レーン 565  
 (74)代理人 弁理士 下田 容一郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 パイプの検査

## (57)【要約】

ラム波を用いて長尺部材、特にパイプを検査するための装置と方法。該装置および方法は、パイプに沿う1方向への単一モードの軸対称ラム波の伝搬を実行する。パイプに沿って通過した後のラム波を受信し、パイプ内に欠陥が存在するか否かを決定すべく記憶、処理および分析するため、受信波を変換する手段が設けられている。該装置は、リングクランプ手段内に角度方向に等角度で離隔配置された複数のラム波エキサイタ (Lamb wave exciter) から成る少なくとも1つ、通常は数個の励振リング (excitation ring) を具備する。これにより、各エキサイタは、等しい力で被検査パイプの表面に圧接される。

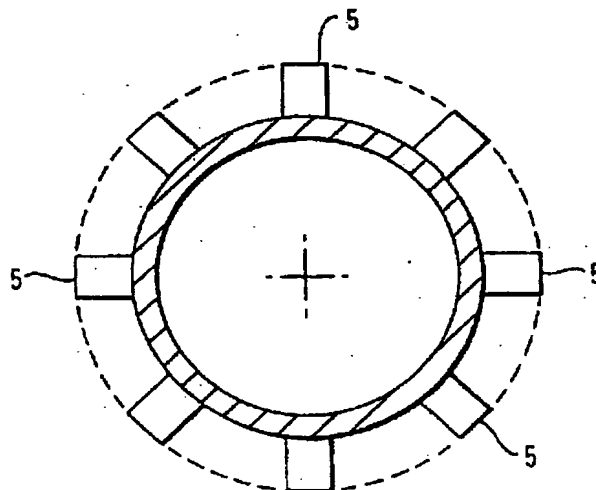


FIG. 6

**【特許請求の範囲】**

1. パイプを検査する装置であって、

パイプに沿う単一方向に

(a)単一モード軸対称ラム波、

(b)単一ねじれモード波、

(c)単一曲げモード波

のいずれかを伝搬するようなされた複数の角度方向に離隔する波動エキサイタで構成される少なくとも1つのリングと、

前記波を受信可能な受信手段と、

前記パイプの状態を評価するため前記受信波を分析可能な分析手段と、から成るパイプ検査装置。

2. 前記励振アセンブリは、パイプ壁の外側に固定され、前記パイプに沿って前記波を伝搬させるよう制御可能な第1励振リング (3A) で構成されている請求項1に記載の装置。

3. 前記励振アセンブリは、不要モードの前記波の伝搬を抑制し、かつ、前記パイプに沿う逆方向への前記波の伝搬を抑制すべく、前記第1励振リングとともに制御される第2励振リング (3B) および第3励振リング (3A) から成る請求項1又は請求項2に記載の装置。

4. 前記励振リング (3) の少なくとも1つは受信手段として動作する請求項1乃至3のいずれか1項に記載の装置。

5. 各励振リング (3) は、等角に離隔して支持されてクランプ手段によってパイプ壁と係合する複数の波動エキサイタ (5) から成る請求項1乃至4のいずれか1項に記載の装置。

6. 前記クランプ手段は、前記パイプにクランプされた際に前記パイプから離隔するのに十分な内径を有するリング(19)と、前記リング (19) と前記パイプ壁との間に嵌合して前記パイプ壁の周囲に前記リングを同心に固定するスペーサ手段と、前記波動エキサイタ (5) が、前記パイプ壁と係合する前記リングの周囲において等角に離隔していることと、から成る請求項5に記載の装置。

7. 前記クランプ手段は、使用時、各波動エキサイタ(5)に均一な力を付加して同一の前記力で前記波動エキサイタを前記パイプ壁に圧接する請求項6に記載の装置。

8. 前記リング(19)は、半径方向に分離して前記パイプを中心に配置されるようなされた請求項5乃至7のいずれか1項に記載の装置。

9. 前記波動エキサイタ(5)がいずれの単一リングにおいても同位相で動作するように制御するための計装が設けられている請求項6乃至請求項8のいずれか1項に記載の装置。

10. 複数の波動エキサイタ／トランスジューサ(6)が、検査される前記パイプを中心として角度方向に等角に離隔して設けられており、前記エキサイタ(6)の各々が、前記分析手段の対応チャンネルと接続されており、もって非軸対称モードの前記波を分析のため受信できる請求項1乃至9のいずれか1項に記載の装置。

11. 波動エキサイタ／トランスジューサであって、圧電素子(6)が、前記素子面に電圧が印加された際に極性を帯びて変形するとともに、前記パイプに前記圧電素子(6)をクランプする手段の係合を受ける支持構造体を有し、もって波が制御信号に応答して前記パイプ中を伝搬でき、かつ、前記パイプ中を通過する波に基づいて波動信号を発生できることを特徴とする波動エキサイタ／トランスジューサ。

12. 前記圧電素子(6)は、剪断極性圧電素子(6A)である請求項11に記載のエキサイタ。

13. 前記支持構造体は、硬質支持ブロック(31)で提供されている請求項11又は請求項12に記載のエキサイタ。

14. 前記圧電素子(6)の前記パイプ係合可能面は、これに固定された面シム(13,32)によって保護されている請求項11乃至13のいずれか1項に記載のエキサイタ。

15. パイプを検査する方法であって、

前記パイプに沿う1の長手方向に単一モードの波を伝搬させるステップ

と、

前記伝搬波を受信し、前記パイプ内にどのような構造が存在するかを決定するため前記波を分析するステップと、

から成るパイプ検査方法。

16. 前記パイプに沿う1の長手方向に単一モードの軸対称ラム波を伝搬させるため、

前記パイプ中に軸対称ラム波を伝搬するステップと、

前記パイプに沿ういずれかの長手方向に伝搬する一定のモードの前記ラム波以外の全て抑制するステップと、

前記パイプの1の長手方向へのいかなるラム波の伝搬をも抑制するステップと、

から成る請求項15に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

パイプの検査

本発明は、一般に長尺部材の検査に関し、特にパイプ、ロッド、ビーム、ストラット等の構造部材の状態、特に疲労、腐食或は侵食を受けているか否かを確認するための検査に関する。本発明は、特にパイプ検査における産業上の利用に関連して説明しているが、その利用に限定解釈してはならない。

腐食、侵食或は疲労等のやっかいな現象を調べるパイプの状態検査は、プラントの操業停止の必要性、不可解な遅れ及びパイプ内部をイメージすることの困難さにより時として複雑化する。現行のパイプ検査技術は、パイプを視覚検査する際の遅れを除去し、次いで超音波蛍光検査鏡等を用いてパイプの内側で進行している欠陥を探し出すものである。これに代わる技術としては、超音波又は渦電流探査針をスレッジ (sledge) に取付け、次いでこのスレッジをパイプの内側に沿って引張るものがある。上記の外部アプローチと同様に、パイプの長さに沿う全箇所を探査針で走査しなければならず、検査時間が長くなってしまう。

本発明の目的は、従来技術の前述の不都合を軽減したパイプ状態検査装置を提供することにある。

本発明の1の概念によれば、パイプ検査方法であって、  
パイプに沿う単一方向に

- (a)単一モード軸対称ラム波(single mode axially symmetric Lamb wave)、
- (b)単一ねじれモード波(single torsional mode wave)、
- (c)単一曲げモード波(single flexural mode wave)

のいずれかを伝搬するようなされた複数の角度方向に離隔する波動エキサイタ(wave exciter)で構成される少なくとも1つのリングと、

前記波を受信可能な受信手段と、

前記パイプの状態を評価するため前記受信波を分析可能な分析手段と、  
から成るパイプ検査装置が提供された。

好ましくは、該波は軸対称ラム波である。

励振アセンブリ(excitation assembly)は、好ましくは、パイプ壁の外側に

固着され、パイプに沿って軸対称ラム波を伝搬させるよう制御することができる第1励振リングで構成される。

該第1励振リングは、パイプに沿う前及び逆方向の両方向に多モードの軸対称ラム波を伝搬させる。上記のような単純な励振アセンブリを用いる受信手段によって受信信号は、有効分析することが極めて難しい。従って該アセンブリは、第1励振リングに類似する構成の第2及び第3励振リングを備えればよい。第1、第2及び第3励振リングは、協力して単一の“前”方向へ伝搬する単一軸対称モードを除く全てのモードを抑制する。励振リングを1個だけ余分に励振アセンブリに設けた場合、逆方向伝搬波、即ち不要モードを、アセンブリ中の励振リングの協力によって抑制できる。このように、1方向に伝搬する単一軸対称モードラム波によってパイプを検査でき、従って受信手段によって受信した波形の分析を相当に簡素化できる。

軸対称単方向伝搬ラム波は、励振アセンブリから長手方向に離れた位置において励振アセンブリに類似する構造の受信手段によって受信できる。しかし、より便利で経済的な受信手段を、励振アセンブリの波動エキサイタ／トランスジューサによって提供できる。この好適な後者の場合、受信した波形はパイプ壁における構造からの反射波である。この反射波は、受信した波形の分析によって検出可能なクラック或は変形を含むパイプ壁の構造によって変化する。

本発明による装置は、事情によっては、周期的又は連続的なパイプ状態検査のための常設装置として使用してもよい。しかし、該装置は断続的なパイプ検査のために容易に着脱できるようにしてもよい。

ラム波の好ましい作用周波数はパイプのサイズによって決まるが、通常は10kHz乃至500kHzの範囲である。好ましくは最速伝搬モードのラム波を検査に選択する。

ラム波の励振は、従前は電磁音響変換器(electromagnetic acoustic transducer/EMAT)から成るエキサイタを用いて達成されていたが、EMATは、通常70mmから460mmまでの間のパイプ中に軸対称ラム波を誘導可能な励振アセンブリの構成には大き過ぎて使用できない。

従って、本発明の別の概念は、圧電素子が、その表面に電圧が印加された際に極性を有して変形するとともに、圧電素子をパイプに挟持する手段と係合可能な支持構造体を有しており、もって波が制御信号に応答してパイプ内を伝搬し、パイプを内を移動する波に基づいて波動信号を発生できるようなされたこと特徴とする波動エキサイタ／トランスジューサである。

エキサイタの第1の実施例において、圧電素子は、長手方向に伸縮する膨張型素子であり、支持構造体は、損失材(lossy material)を充填したケーシングとされている。ケーシング及び損失材は、素子への電氣的接続の保護、パイプの粗面に圧接された際に非常に脆い素子を保護するための曲げ剛性の提供およびラム波エキサイタが励振信号の正確な再生を出力するよう残響の減衰といった目的に寄与する。

前述の膨張型トランスジューサを使用してみたところ、十分な注意を払ってトランスジューサをセットアップしたとしても、希望モードの場合の約1%の持続基線信号しか得られず、このような低基線信号を得るためのセットアップにより、試験に2時間もかかることが分った。これは、産業上の利用には非実用的である。

上述の課題は、素子が剪断極性圧電素子(shear polarized piezoelectric element)とされたエキサイタの代替の好適実施例によって軽減される。この実施例において、パイプと係合する素子の表面は、1回に1方向にのみにズレ、この方向は励振波形によって変化するが、ブロックに取付けられる対向面と常に平行である。従って、パイプ上における力は、パイプとの接触位置に関係なく即座に1つの方向へ加えられ、素子へ適用される波形に基づいて大きさおよび方向が変化する。

損失材を充填されたケーシング中に収容されたトランスジューサを用いたところ、約70kHzの作用周波数では減衰が不十分であり、トランスジューサを受信器として使用したとき、応答中に残響テール(reverberation tail)が現れることが分った。このテールの程度は、同設計の各種トランスジューサ間で異なり、軸対称励振リングの取得を非常に難しいものになっている。残響テールの原因は、70kHzと80kHzの間で頻繁に発生するが、他の作用周波数でも起こりうるエキサイタ



の共振である。エキサイタの作用周波数は約70kHzであり、従って大きな問題となる。

前述の課題を軽減するため、圧電素子は、トランスジューサの全ての共振を作用周波数の範囲外に移動させる剛性支持体に支持されている。該剛性支持体は、好ましくは、スチール支持ブロックであり、膨張型或は剪断極性型のいずれかの圧電素子に適用すればよい。このタイプの支持構造体の更なる長所は、各ラム波エキサイタのサイズの縮小であり、これは非常に頑丈でもある。

各励振リングは、隣接するエキサイタから等間隔で離隔し、クランプ手段によってパイプ壁に対してクランプされた複数のエキサイタで構成すればよい。各エキサイタは、パイプを通る波の機械的な力を電氣的信号に換える波動受信機として作用することができる。従ってエキサイタは、場合によってトランスジューサになる。

非軸対称モード波を分析のために受信できるように各エキサイタが分析手段の対応チャネルと連通している場合には被検査パイプの周囲に等角度で離隔する複数の波動エキサイタ／トランスジューサから成る励振リングを採用することが可能である。

受信アセンブリは、1方向に移動する単一モード伝搬波のみを受信するように制御してもよい。

以下に、本発明に従って構成され、ラム波を用いてパイプを検査する装置の実施例を、例示として、添付図面に基づいて説明する。

図1は、直径76.2mm (3インチ) で壁厚5.5mmのパイプに沿って伝搬する軸対称 $L(*,*)$ ラム波モードおよび非軸対称 $F(*,*)$ ラム波モードのグループ速度分散曲線図である。

図2は、パイプにクランプされたラム波励振アセンブリの概略図である。

図3は、本発明による装置のブロック図である。

図4は、単一ラム波エキサイタの第1実施例の断面図である。

図5は、図4のラム波エキサイタの端部断面図である。

図6は、パイプの周囲に対称配置された単一ラム波エキサイタリングのラム波エキサイタを示す概略断面図である。

図7は、励振アセンブリをパイプに固定するクランプ手段の概略図である。

図8は、対称荷重クランプ手段を用いて配置された膨張トランスジューサの概略図である。

図9は、剪断極性圧電変換器の変形を示す説明図である。

図10aは、圧電剪断トランスジューサを使用した場合の受信した信号を示す説明図である。

図10bは、膨張トランスジューサを使用した場合の受信信号を示す説明図である。

図11は、ラム波エキサイタの第2実施例の概略図である。

図1は、所望の70kHzの作用周波数で、壁厚5.5mmで直径76.2mmのパイプにおける最速伝搬モードが $L(0,1)$ モードと対称の $L(0,2)$ モードであり、これがパイプ検査に使用するラム波モードであることを示す。 $L(0,1)$ および $L(0,2)$ 波モードは伝搬の異なる軸対称波モードである。両者間の違いは、変位およびパイプを通過する応力の分布にある。上記技術は1979年の雑誌“Ultrasonics”の11乃至19ページの“The propagation in metal tubing of ultrasonic wave modes equivalent to Lamb waves”と題するM.G.SilkおよびK.F.Baintonによる記事において詳細に解説されている。

図2は、上記装置のラム波励振アセンブリ2がパイプ1にクランプされたところを示す。励振アセンブリ2は、(図6に詳しく示される)第1励振リング3Aと、第2励振リング3Bと、第3励振リング3Cとから成る。各リングは、図6に示されるリング3Aに類似する構造を有する。

励振リング3A、3B、3Cは、典型的に直径3インチのパイプには16個、直径6インチのパイプには32個で1組の対称配置されたラム波エキサイタ／トランスジューサ5から成る。1つのリングに必要とされるラム波エキサイタの最小個数は、励振信号中に存在する最高周波数の分散図における最高次数の非軸対称モードに関係する。このモードの次数を例えば13とした場合、素子の最小個数は14である。各ラム波エキサイタは高インピーダンス圧電素子6から成り、図4及び図5又は図11に詳細に示されている。使用時、各ラム波エキサイタは、この装置例の場合には全エキサイタに40Nの荷重をかけるクランプ手段によ

って

パイプ1の表面と作用係合する。この構成は、パイプ1とエキサイタ5の十分な結合を実現し、結合液を不要とする。

適度なクランプ手段の例が図7に示されている。このクランプ手段は内側開口20を有するリング19で構成されている。半径方向に伸びる3つのネジ（図示せず）のようなスペーサ手段は、リング19の周囲に120°の間隔で離隔配置されている。ネジはパイプ壁と係合すべく調節可能であり、リングをパイプの周囲に同心にパイプから離隔するように支持する。これにより、パイプとの接触が最小となり、所望の波の減衰を最小にし、またクランプ手段によって起こる波反射をも減少する。半径方向に伸びる複数の貫通孔21はリング19の周囲において角度方向に等角で離隔している。十分な通し穴21が、所望の個数のラム波エキサイタ5が各貫通孔に取付けられるよう設けられている。各ラム波エキサイタ5は長尺プッシュロッド22の端部に取付けられている。プッシュロッド22は、外側にネジが形成されたスリーブ23にスライド嵌合するので、ロッド22上の当接部25とスリーブ23との間で作用する圧縮コイルばね24は、ロッド22を鉛直方向に突出せしめる。ラム波エキサイタ5は、内側にネジを有する穴21にスリーブ23を螺入することによってクランプ手段に取付けられ、従ってラム波エキサイタ5は、ばね24の作用によってパイプ1の壁の外側に圧接される。荷重は、スリーブ23をネジを締めつける或は緩めることによって調整できる。

クランプ手段の好適な形態において、リング19は、半径方向に1つ又はそれ以上の分離可能な部分19a、19bに分離される。図7に示される例において、2つの部分19a、19bは、符号26a、26bで示される2つのボルト及びヒンジアセンブリによって接続される。各ボルト及びヒンジアセンブリは一对のブラケット27a、27bから成っている。ブラケット27aはリング19の分割部近傍の第1部分に取付けられており、各ブラケット27bは他方のリング部分19bに取付けられている。

ブラケット27aの1つは、リングに対して接線方向に伸び、アレンキーボルト (allen key bolt) 29を受受するのに十分な直径の貫通孔28を有する。

貫通孔28は螺刻されていない。各ブラケット27bも、接線方向へ伸びてボルト29を収容する開口を有する。ボルト29は、リング19の軸と平行に伸びる

ように取付けられたピボットピン30に螺入される。各ブラケット27bの開口は、ボルト29がピボットピン30に螺入された際にそのボルトの揺動を許容する。

アセンブリ26bのブラケット27aは、このブラケットが弛められた際にボルト29が飛出することを許容し、延いてはリング部分19a、19bがもう一方のブラケットの揺動ピン27bを中心に分離することを許容する2つのフォークで構成される点で、アセンブリ26aのブラケット27aと異なる。

取付け手段の好適な形態は上記のようなヒンジ固定分割型リングであるが、パイプ端部に滑り込ませる単純リング、或は、上述のようなヒンジとボルトのアセンブリはないが単純なボルト止めブラケットを備える分割リング、オーバーロック式 (over locking) 止め具、バックルアンドベルト式締め具、その他の広範の機構を使用することも可能である。リング形取付け手段が好ましいが、例えば多角形構造又は関節ベルト構造などのリング様の形態をとり、ラム波エキサイタを支持する構造のものであってもよい。

膨張型励振素子の1例が断面で図4及び図5に示されている。圧電素子6は、長尺で極性を有するので、その長さに沿って伸縮する。このタイプの素子がひずみゲージとして使用されていることは周知のとおりである。素子6は、タフネル (Tufnel) で形成されたケーシング7から成る支持構造体を有し、そのベースに収容されている。ケーシングは、直立の対向側壁8および端部壁9と、シールカバー10とを有する。圧電素子6を制御及び分析装置に接続するための小寸同軸ケーブル11は、カバー10を貫通し、ケーシングによって形成されたチャンバ12内で圧電素子6と接続されている。パイプから圧電素子6に力を自由伝達すべくその圧電素子を保護する摩耗プレートを提供するため、薄い面プレートシム (face plate shim) 13が圧電素子6の表面に固着されている。シム13は、その剪断剛性が圧電素子6とパイプ1との結合に干渉しない十分な高さになるよう十分に薄くしなければならない。実施例では、シムは厚さ0.06mmのスチール又

は真鍮製であり、これと圧電素子との間の接着ラインにおいて圧電素子から電氣的に絶縁するとよい。しかし、シム13を不導体で形成して圧電素子6を電氣的に絶縁するようにしてもよい。チャンバ12には、タングステン添加エポキシが充

填されており、この材料は、ゲージおよび電気接続部を保護する損失材であり、曲げ剛性を付加して極めて脆い圧電素子がパイプの粗面に圧接された際に壊れないようにし、また、残響を減衰させてトランスジューサが付与された励振信号の忠実な再生を出力するようにする、或は、受信機として使用した際に通過波に相当する電圧を発生させる。このように、損失素材はパイプ面の粗さと調和して残響を減衰させる手段を提供する。

図9は、膨張型圧電トランスジューサ6に優先して使用される剪断極性圧電トランスジューサ6Aを概略的に示したものである。このタイプのトランスジューサを用いた場合、パイプ壁と係合する面は、パイプ軸と平行な1方向にのみ移動し、従って同方向にその全長にわたって力を付加する。図10aおよび図10bは、剪断極性トランスジューサを使用することで、信号の鮮明度が向上することを示す。図10aは、長さに沿う3つの異なる位置においてロードされた単一剪断極性トランスジューサから得られた受信信号を示す。3箇所における応答の大きさが類似しており、位相がほとんど同じである。図10bは、膨張型トランスジューサを用いた同様の実験の結果を示しており、明確な位相変化が見られる。実験は、リングの代りに単一トランスジューサを用いて行ったものであり、従って非軸対称モードの顕著な振幅が見られる。

図11は励振リング用の単一ラム波モードの第2実施例を示す。この実施例において、上記のような剪断極性圧電変成器6Aは硬質ブロック31に接着されている。この場合、硬質ブロック31はスチールで形成され、接着はエポキシセメントによって達成される。真鍮で形成すればよい表面シム32は圧電素子6Aの表面に接着されている。通路33は、支持ブロック31に貫通形成されており、圧電素子6Aに対する電気接続部を保護的支持を与える。硬質ブロック支持構造体は膨張型圧電素子を支持する。

各ラム波エキサイティング3は図3に示される装置によって制御され、従ってどの励振リング3における各エキサイタ6も同位相で動作する。該装置は、この場合、各励振リング3A、3B、3Cのための励振信号を算出するパーソナルコンピュータ14から成る。次いで励振信号は、各励振リング3A、3B、3Cに信号を供給する3つのチャンネルを有する多チャンネル信号発生器15へ送信され

る。信号発生器15は、所望数の励振リングへの供給に十分なチャンネルを有する例えば所望の単一モードラム波を増幅するといった状況においては、3つ以上のリングが要望される。その後励振信号は、励振信号の各チャンネルを別個に増幅して励振リング3に付与する増幅器16に供給され、もって励振アセンブリは、パイプを下方の1方向に伝搬する単一L(0,2)軸対称モードラム波を発生する。

一定の応用例においては、L(0,2)モード以外のモードを採用してもよい。

異なる数の励振リングを採用して不要な軸対称モードを抑制し、所望モードの1方向への伝搬を制限してもよい。目下の好適な形態においては、3つのリングが採用され、連続するリングは図2に示されるように距離Lだけ離されている。この距離Lは次式で設定する。

$$L = \frac{(2m+1)\lambda_1}{2} \quad m \text{は整数}$$

ここで、 $\lambda_1$ は双方向において抑制されるモードの波長である。好適な形態では $m=0$ であるから、

$$L = \frac{\lambda_1}{2}$$

となる。しかし、リングの物理的サイズが故、この実行に十分な小分割を常に達成できるわけではなく、mをより大きな整数に設定する場合もある。

第1励振リング3Aに適用された信号は、帯域幅を制限するため、ハニング(Hanning) 或はガウス(Gaussian)窓に封入された所望の周波数(通常は70kHz前後)に集中するトーンバーストである。第3リング3Cに適用された信号はリング3Aに適用されたものと同じであるが、次式で与えられる時間Tだけ遅れる。

$$T = \frac{\pi}{\omega} \left( (2n+1) - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \quad n \text{ は整数}$$

ここで、 $\omega$  はトーンバーストの中心周波数 (rad/sec で表現) であり、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  はそれぞれ双方向へ抑制されるべきモード、後方向へ抑制されるべき所望のモードの中心周波数における波長である。通常、 $n$  はゼロに設定されるので

$$T = \frac{\pi}{\omega} \left( 1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)$$

となる。中間励振リング 3 B に適用された信号は、リング 3 A とリング 3 C に適用された信号との合計である。

この操作で入力トーンバーストの中心周波数における双方向への不要モードは抑制されるが、信号に存在する他の周波数においては抑制されない。所望モードが分散性のない (即ち、周波数で速度が変化しない) 場合、このモードの後方への伝搬は、入力トーンバーストに存在する全ての周波数において抑制される。しかし、モードが分散性である場合、後方への抑制は中心周波数において達成されるだけである。この場合、第 3 リング 3 C に適用される信号を変更することが望ましい。

所望モードの位相速度が周波数の関数、 $c = g(\omega)$ 、と仮定する。このとき波長  $\lambda$  は次式により与えられる。

$$\frac{2\pi c}{\omega} = \frac{2\pi g(\omega)}{\omega}$$

第 1 リングに適用する励振信号を  $X(t)$  とし、この信号のフーリエ変換は  $X(\omega)e^{j\omega t}$  となる。それぞれの周波数において、第 1 リングに適用する信号を、次式で示される時間  $T$  で遅延させる第 2 リングに適用する励振信号が必要である。

$$T = \frac{\pi}{\omega} - \frac{L}{g(\omega)}$$

ここで、 $L$  は励振リング間の距離である。必要とされる信号のフーリエ成分は次式で与えられる。

$$Y(\omega) = X(\omega) e^{i\omega(t-T)}$$

第2リングに適用する励振信号は $Y(t)$ の逆フーリエ変換によって与えられる。

$$y(t) = \int Y(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

ここで、積分は信号の全帯域幅をとる。

リング3Bに適用する信号は再びリング3Aとリング3Cに適用される信号の合計となる。分散モードから成る受信信号の分析を向上するため受信において同様な処置を施してもよい。2つ以上の不要な軸対称モードの削除には追加の励振リングを要する。追加の励振リングは、前方向への所望の軸対称モードの振幅の増大にも有効である。

2つ以上の励振リングを使用する唯一の目的がモードの後方伝搬の抑制である場合、前方への励振を行なえばよく、 $L = \lambda/4$ とすれば有利である。このとき、 $T$ は励振信号の中心周波数における $1/4$ 周期であり、前方伝搬波の振幅がこの周波数において最大化することが分るであろう。

実施例において、励振素子は受信機にもなり、従ってパイプ1を下に伝搬し、反射してパイプ1を上へ戻るラム波は、励振リング3の、各ラム波エキサイタの圧電素子に外乱(disturbance)を生じさせる。この外乱によって圧電素子は、図3の右側に示される計装に適用される電圧信号を発生する。従って、各励振リング3は対応の信号を発生する。これらの信号の各々は、デジタル—アナログ変換器19に供給される前に個々の高バイパスフィルタのアレイ17に、次いで受信機増幅器18に供給され、さらに分析のためコンピューター14に供給される。高バイパスフィルタは10kHzの設定でよい。

個々のリングに受信された信号を単一モード、単一方向伝搬用の励振信号を生成するのに用いた分析と同様なものを使用してソフトウェア処理してもよい。

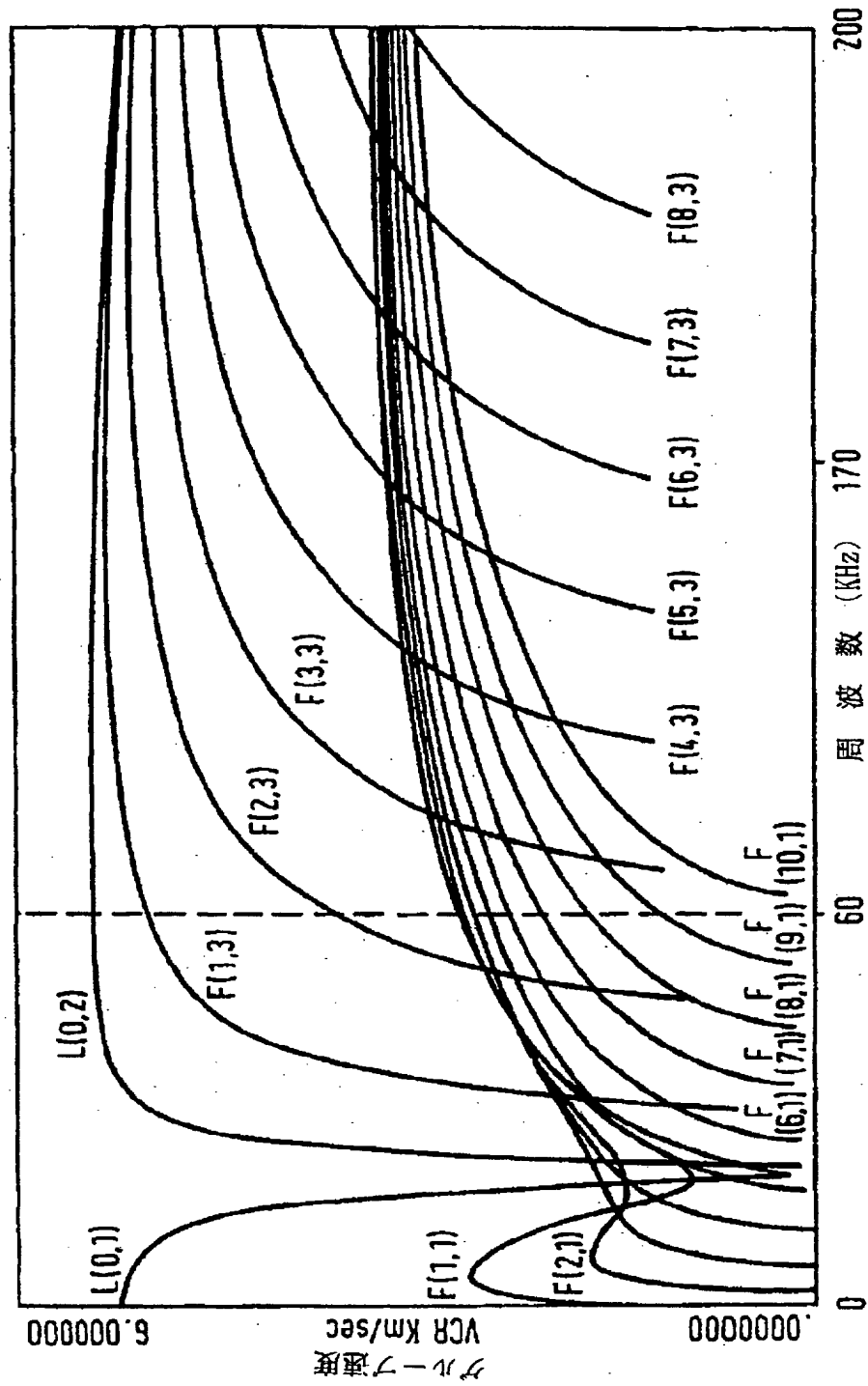
この処理の出力は、パイプの特徴部による反射によって発生した単一の軸対称モードから成る信号である。リング毎ではなく、ラム波エキサイタ／トランスジューサ毎に1つの受信機チャンネルを採用することも可能である。そうした場合、パ



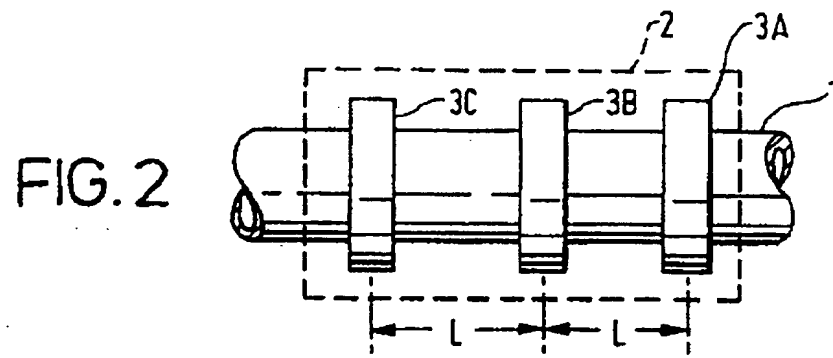
パイプ内の特徴部におけるモード変換によって生成される反射信号に存在する他の非軸対称モードの振幅を決定する更に高度な分析を採用することが可能である。この分析の実施方法の1つが、Alleyn D. N.とCawley P. による、1991年のJ Acoust Soc Amの89巻における“A 2-dimensional Fourier transform method for the measurement of propagating multi-mode signals”に述べられている。このより高度な方法によってパイプ内における特徴部の性質及びサイズに関する更に多くの情報が与えられる。図8は膨張型圧電変成素子6を示し、クランプ荷重が変成素子の前縁に利用されている。

【図1】

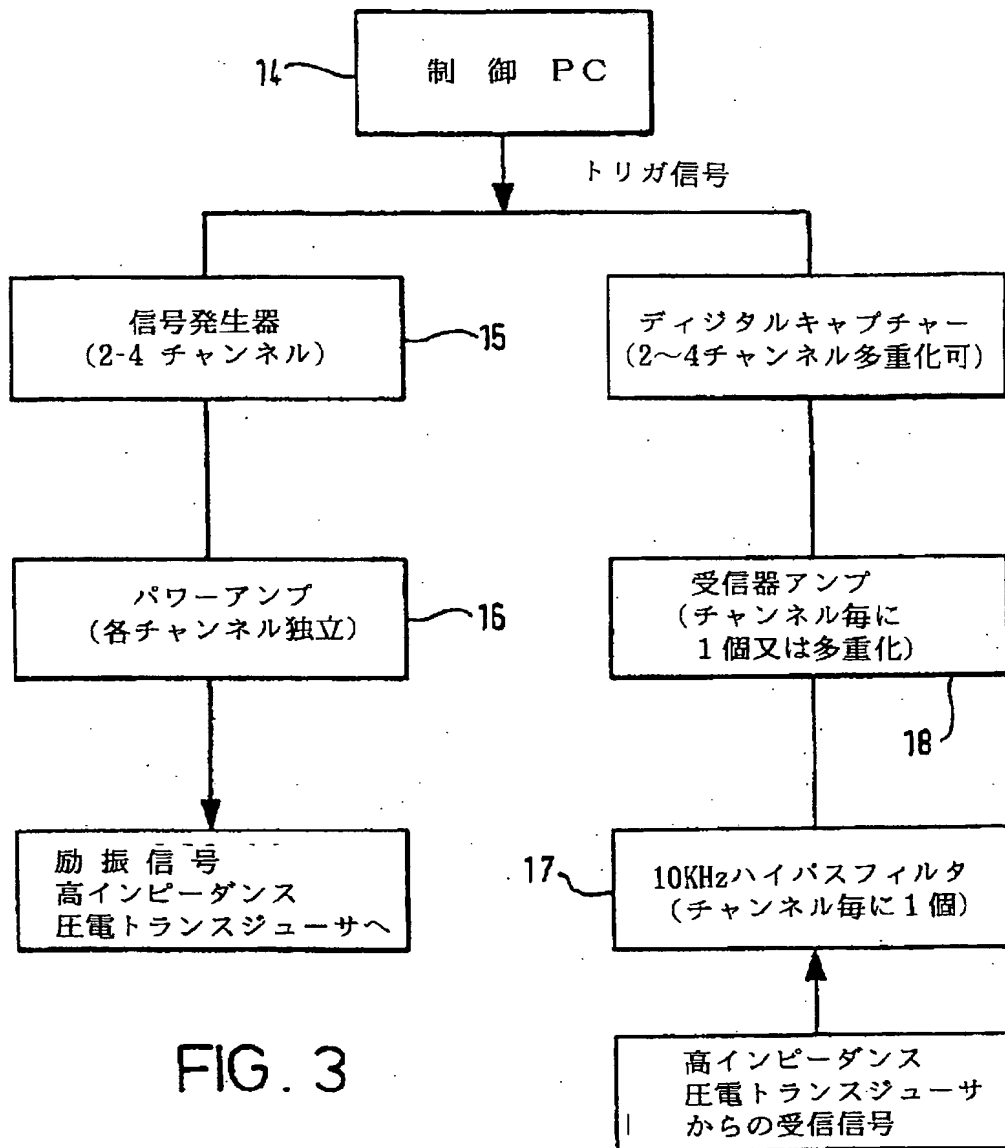
FIG. 1



【図2】



【図3】



【図4】

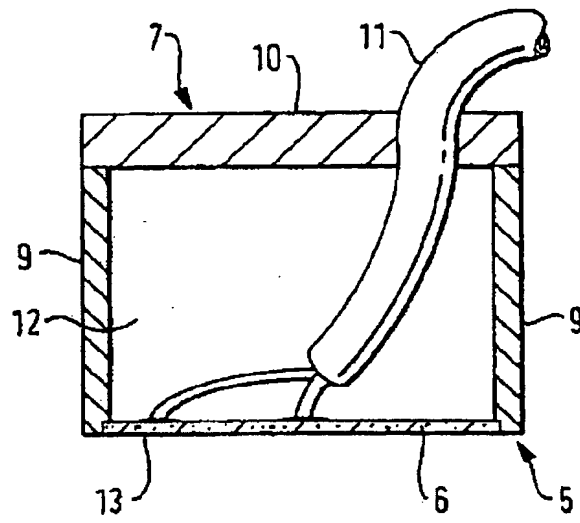


FIG. 4

【図5】

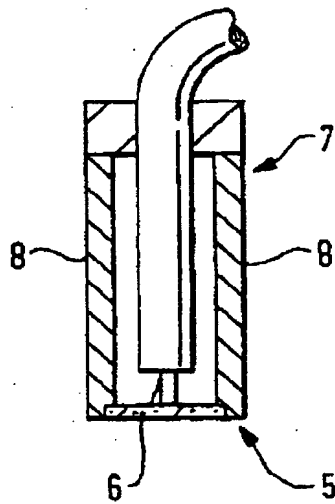


FIG. 5

【図6】

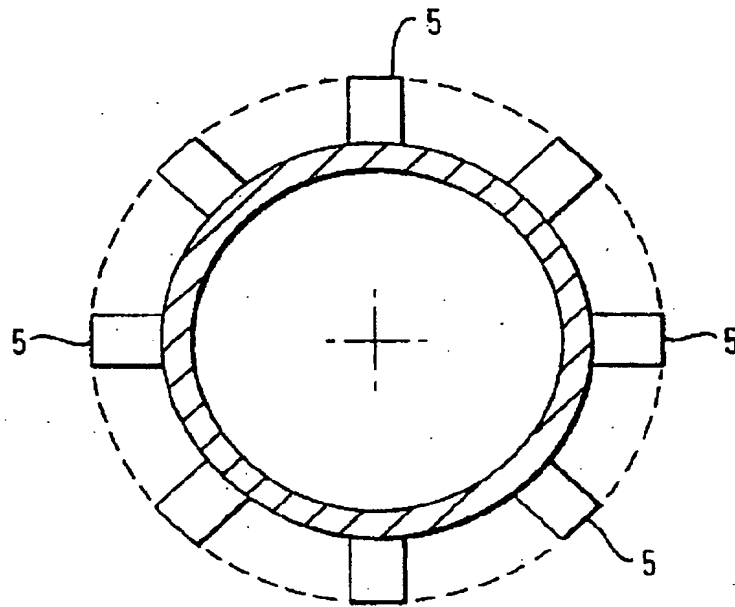
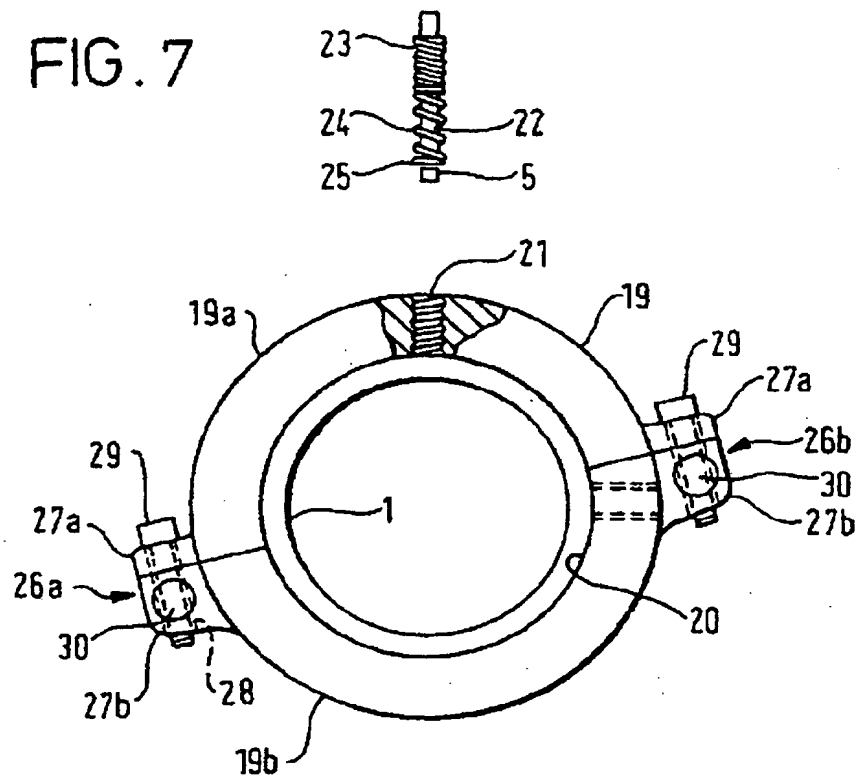


FIG. 6

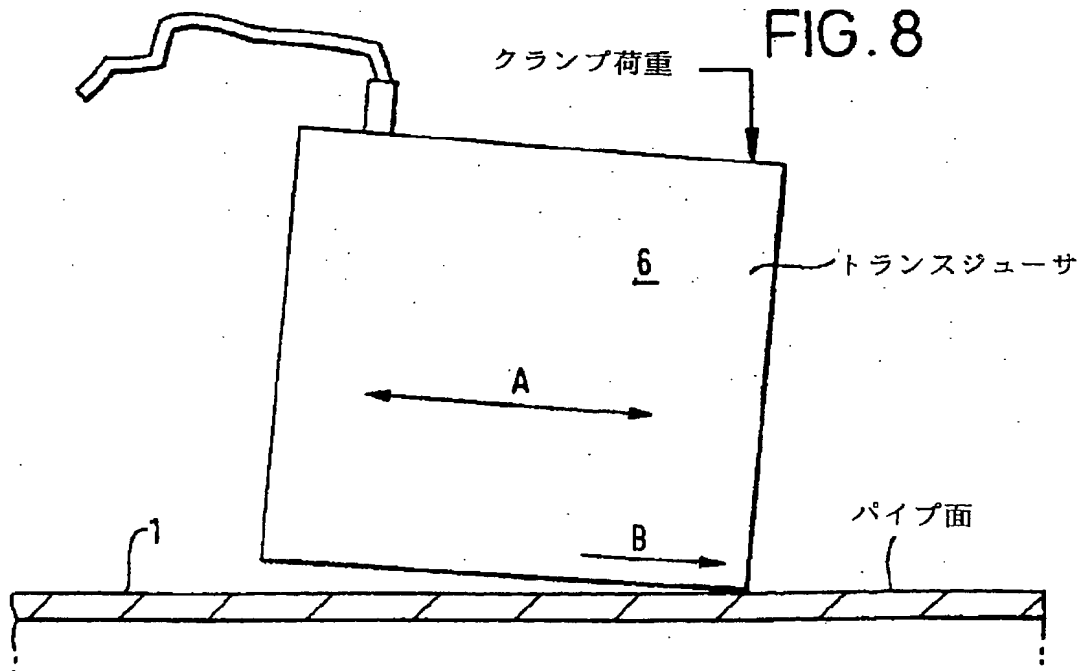
【図7】

FIG. 7

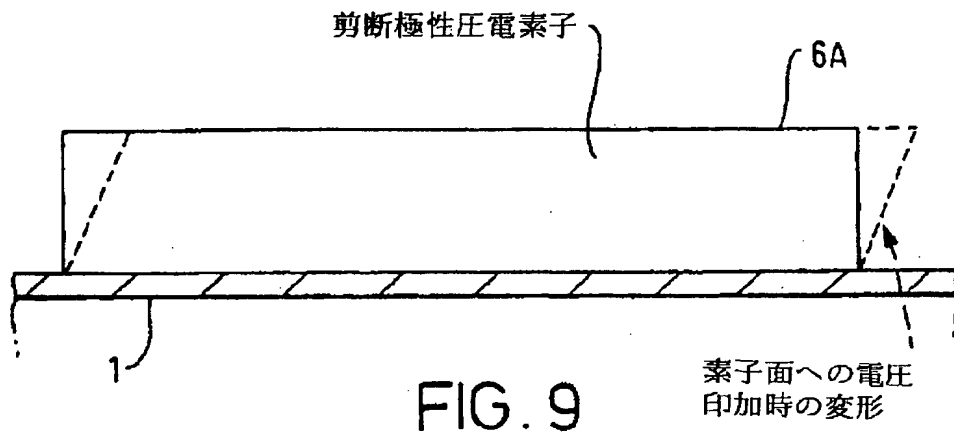


【図8】

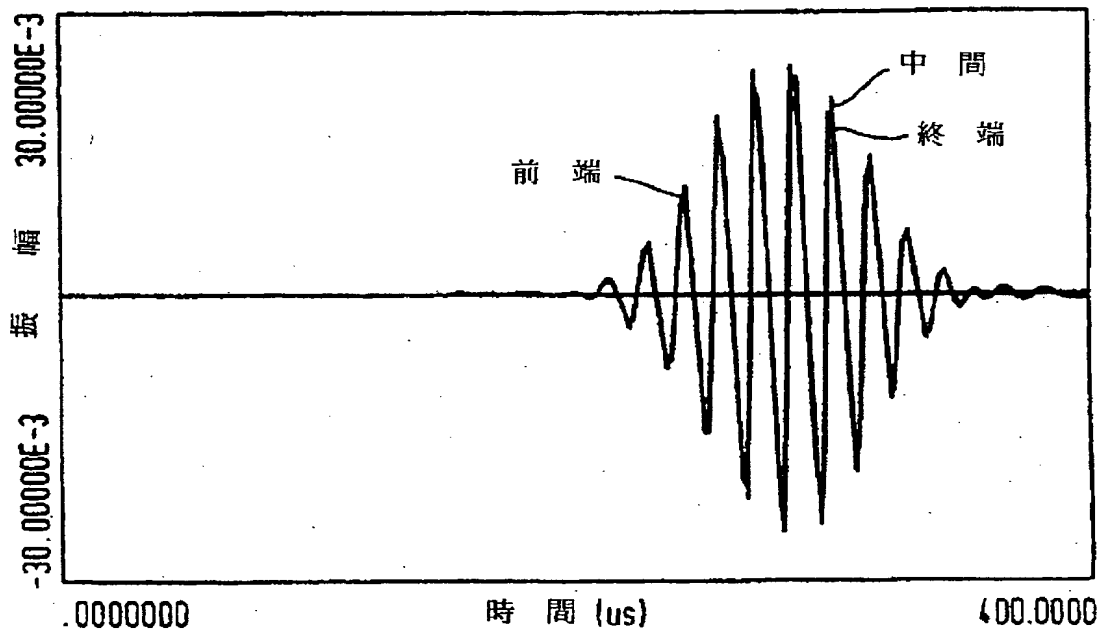
FIG. 8



【図9】



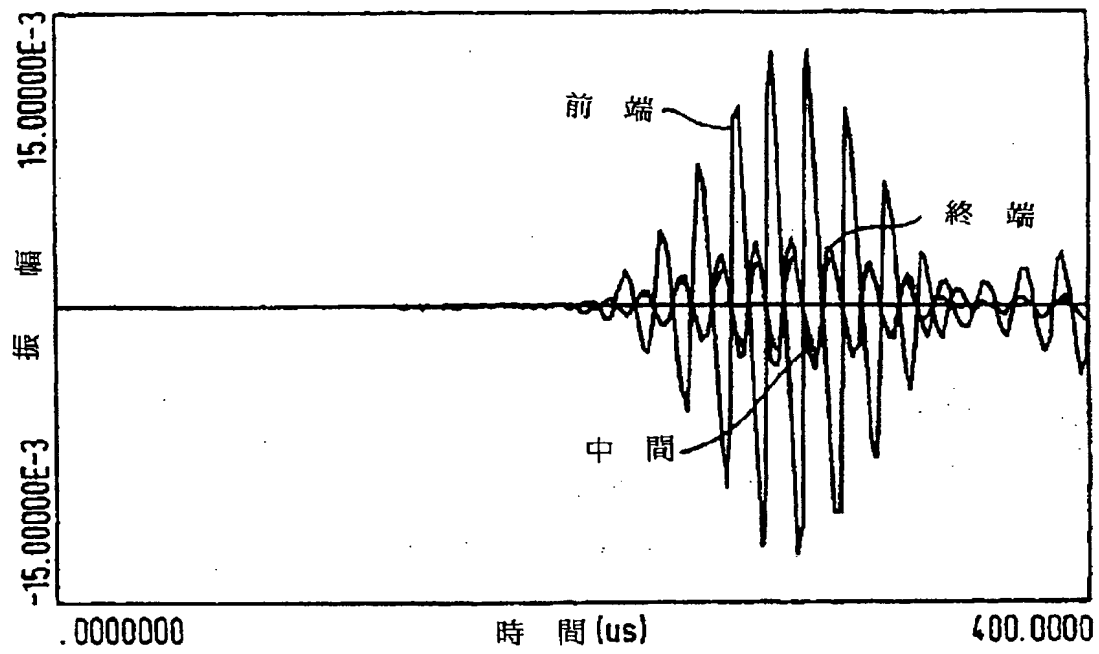
【図10】



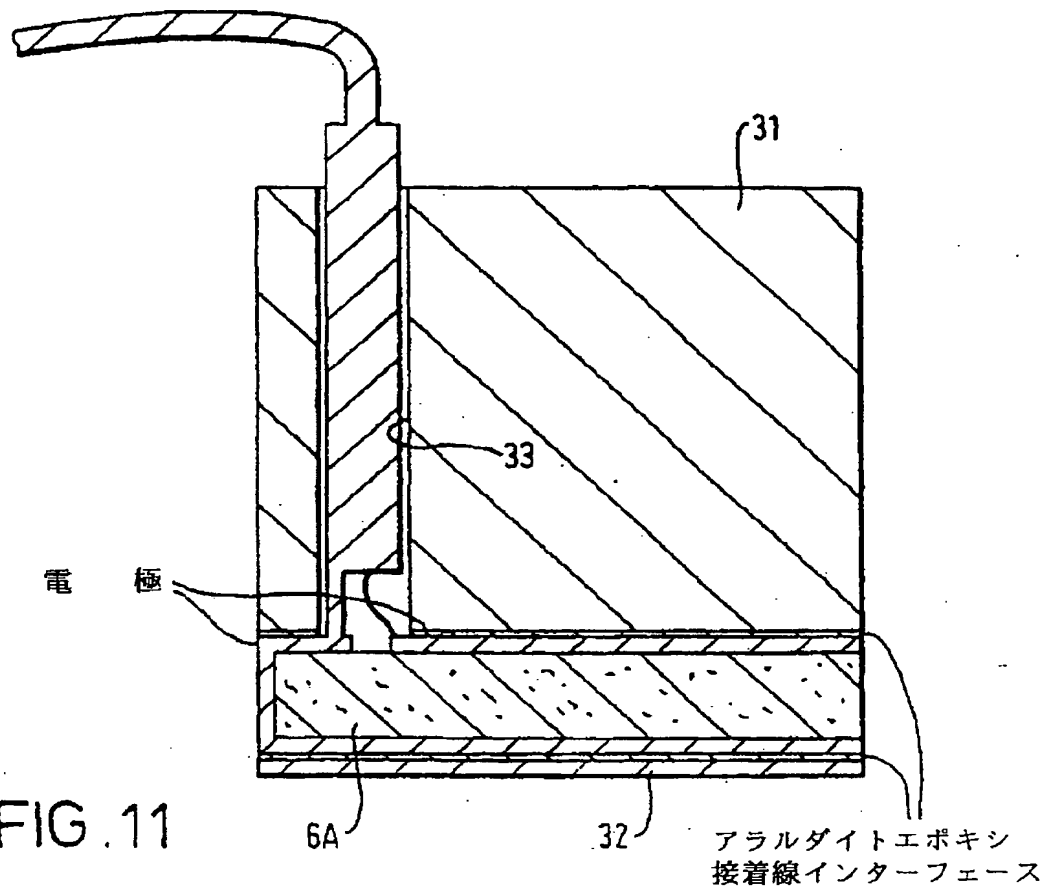


【図10】

FIG. 10b



【図11】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Classification No. PCT/GB 95/02482		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G01N29/22 G10K11/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G01N G10K B06B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WD,A,95 05585 (ENPROTECH CORP) 23 February 1995 see the whole document	1-10,15,16
X	US,A,4 561 306 (MARINO JEAN-CLAUDE ET AL) 31 December 1985 see the whole document	1-10,15
A	US,A,4 041 773 (HAULDERN ET AL.) 16 August 1977 see abstract; figures 1,6-9	1-10,15,16
A	DE,A,24 45 869 (INOUE MASAO) 15 April 1976 see the whole document	1,10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 January 1996		Date of mailing of the international search report 10. 04. 96
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016		Authorized officer Kouzelis, D

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/GB95/02482

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-10,15,16: apparatus for inspecting pipes  
Claims 11-14: particular type of transducer

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-10, 15, 16

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/GB 95/02482

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-9505585	23-02-95	AU-B- 7526994	14-03-95
US-A-4561306	31-12-85	FR-A- 2554163	03-05-85
US-A-4041773	16-08-77	AU-B- 506655	17-01-80
		AU-B- 1845376	13-04-78
		CA-A- 1059614	31-07-79
		DE-A- 2645274	28-04-77
		FR-A, B 2327541	06-05-77
		GB-A- 1561811	05-03-80
		JP-C- 1321428	11-06-86
		JP-A- 52053490	30-04-77
		JP-B- 60045370	09-10-85
		NL-A- 7611197	13-04-77
DE-A-2445869	15-04-76	NONE	

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M  
C, NL, PT, SE), GB, JP, US

(72)発明者 チャン、チェ・ワン  
イギリス国 ビーアール5 3ジェーダブ  
リュ、ケント、オービントン、セント・ボ  
ールズ・クレイ、エセルバート・ロード  
18